

5G Stand Alone 構成による モバイルネットワーク環境

2023年9月5日

総合テストベッド研究開発推進センター
テストベッド研究開発運用室



スマート IoT 推進フォーラム技術戦略検討部会テストベッド分科会
第5回 B5G ネットワークタスクフォース 第5回ユーザ連携・循環進化検討タスクフォース (合同開催)

2023年9月5日

- B5Gモバイルテストベッド環境
 - 概要・提供サービス
 - ・ モバイルアプリケーション実証環境 : A面
 - ・ モバイルネットワーク開発環境 : B面
 - ・ モバイル基地局開発環境 : C面
 - デモ
 - 活用事例紹介

- **B5Gモバイルテストベッド環境**
 - **概要・提供サービス**
 - ・ **モバイルアプリケーション実証環境** : **A面**
 - ・ **モバイルネットワーク開発環境** : **B面**
 - ・ **モバイル基地局開発環境** : **C面**
 - **デモ**
 - **活用事例紹介**

B5Gモバイルテストベッド環境



■ 概要・提供サービス

5G SAアーキテクチャ環境を提供します。実証用途（内容）に応じ、それぞれに適した以下3種の環境を準備しています。

1. モバイルアプリケーション実証環境 : A面

基地局設備、アンテナ等で構成されるモバイルネットワーク環境を提供します。5Gネットワークを活用するアプリケーション技術の研究開発を実施可能とし、課題抽出を経てB5Gネットワークの要件等を明確化します。

B5Gアクセス環境上で動作・機能するアプリケーション/ソリューション検証に適した環境です。

2. モバイルネットワーク開発環境 : B面

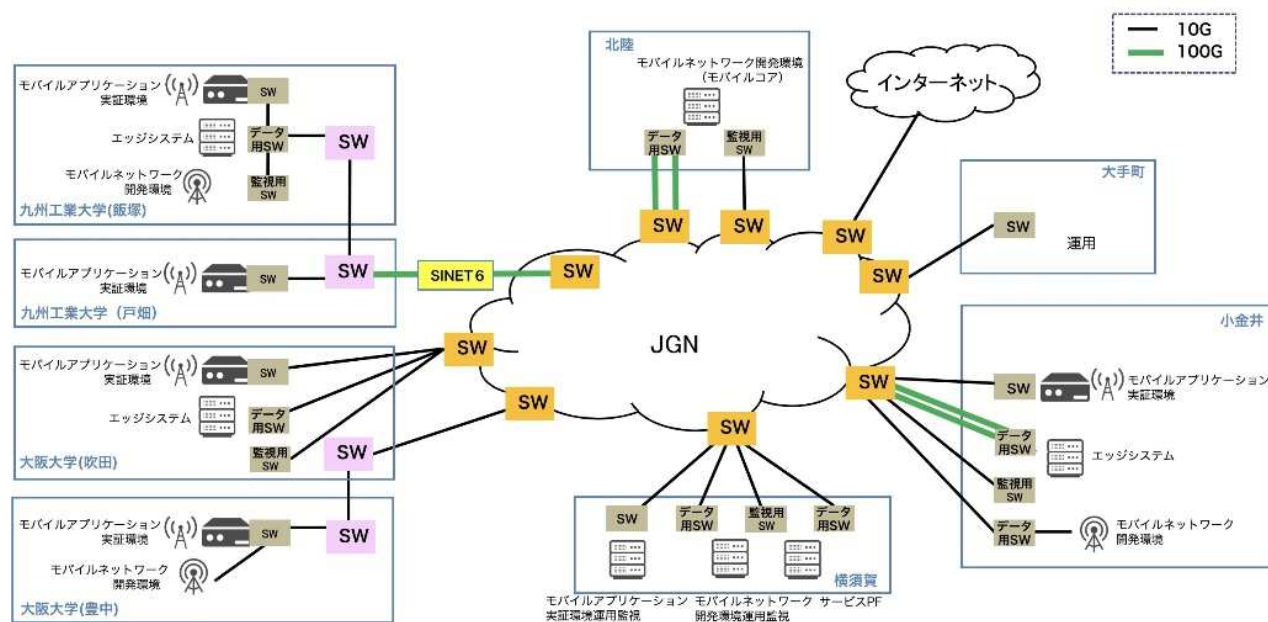
汎用サーバーを用いたクラウドネイティブな基地局設備とアンテナ等によるモバイルネットワーク環境を提供します。基地局機能のソフトウェア変更、C-Planeによるスライシング等の評価を可能とします。

B5Gネットワークファンクションの開発・検証に適した環境です。

3. モバイル基地局開発環境 : C面

複数基地局(28GHz帯、Sub-6GHz帯)及びこれらに接続可能なマルチバンド端末局を用いるモバイルシステムの実証環境を提供します。端末は事前設定により、共通エリアにおける基地局選択が可能です。

B5G無線アクセス系開発・実証/検証に適した環境です。



5G SAアーキテクチャ 各フアンクシヨンの機能概要

■コア

- RAN (Radio Access Network) を制御する仕組み。
- 5Gコアの特徴
 - C-plane/U-planeの完全分離
 - サービスベース・アーキテクチャ
Telecomスタイルのプロトコルインターフェイスから
WebベースAPIへ。新サービス開発を柔軟に。

■RAN (Radio Access Network)

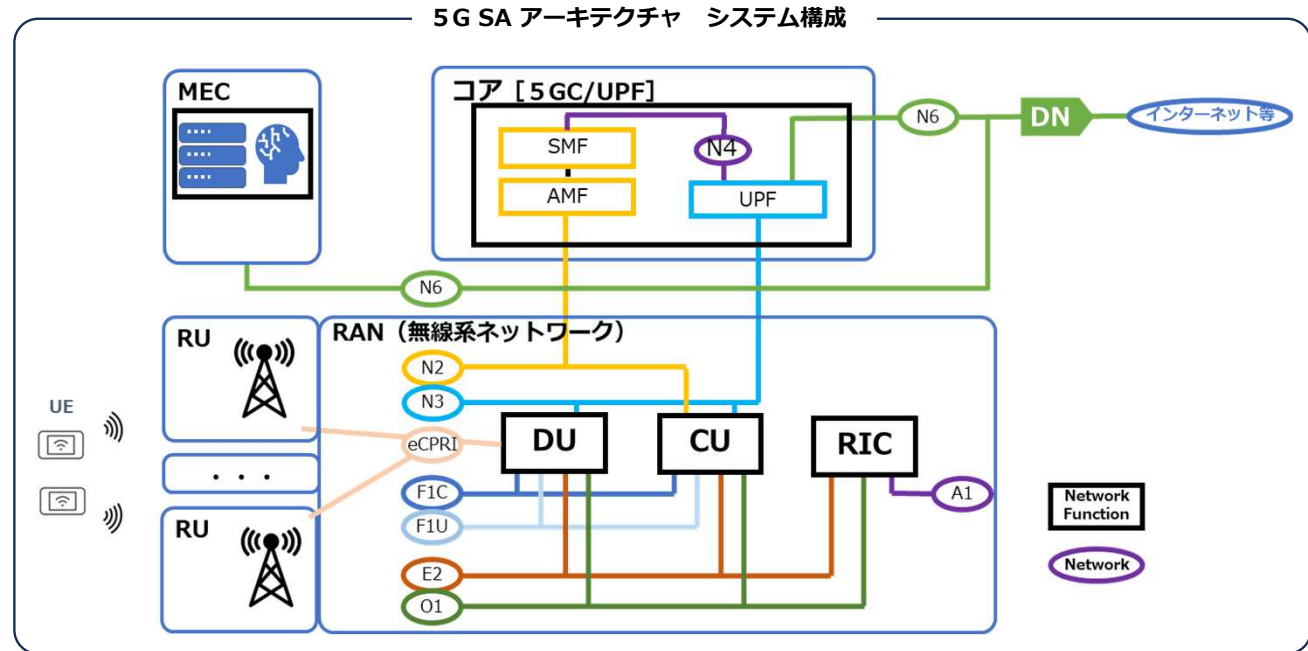
- 端末とコアネットワークを無線で接続する仕組み。
5Gでは、高速・大容量、低遅延を実現する無線技術を採用。

■RIC (RAN Intelligent Controller)

- RANの無線リソースの最適化やRAN運用の自動化を目的。通信性能や通信品質のモニタリング、最適化などのインテリジェント機能の実装が期待され、これにより5Gサービス高度化、運用効率化を目指す。

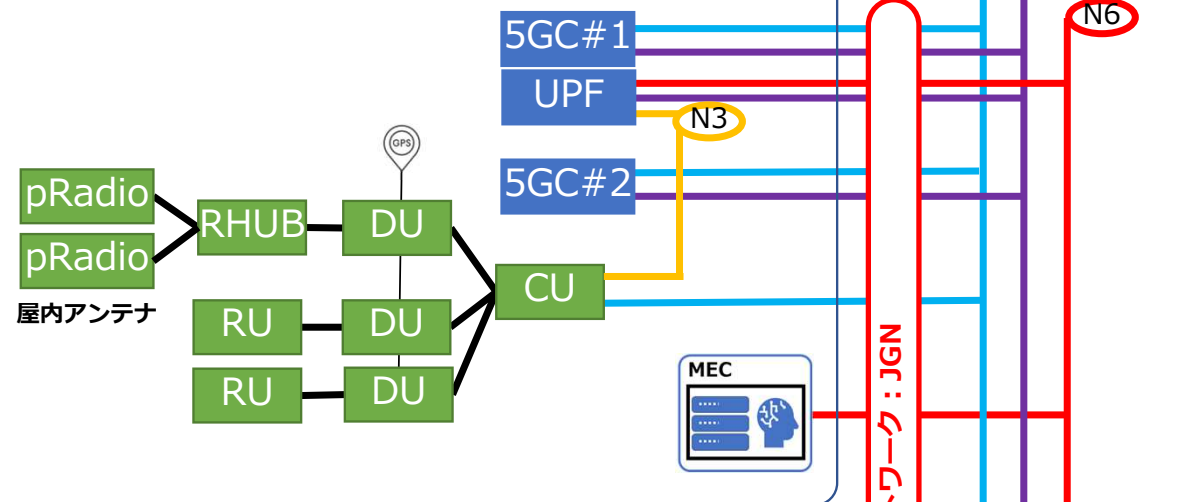
■MEC (Multi-access Edge Computing)

- 端末に近い場所へ置かれた、エッジサーバー。レスポンスを早め低遅延を実現。リアルタイム性の高いサービス提供を可能に。

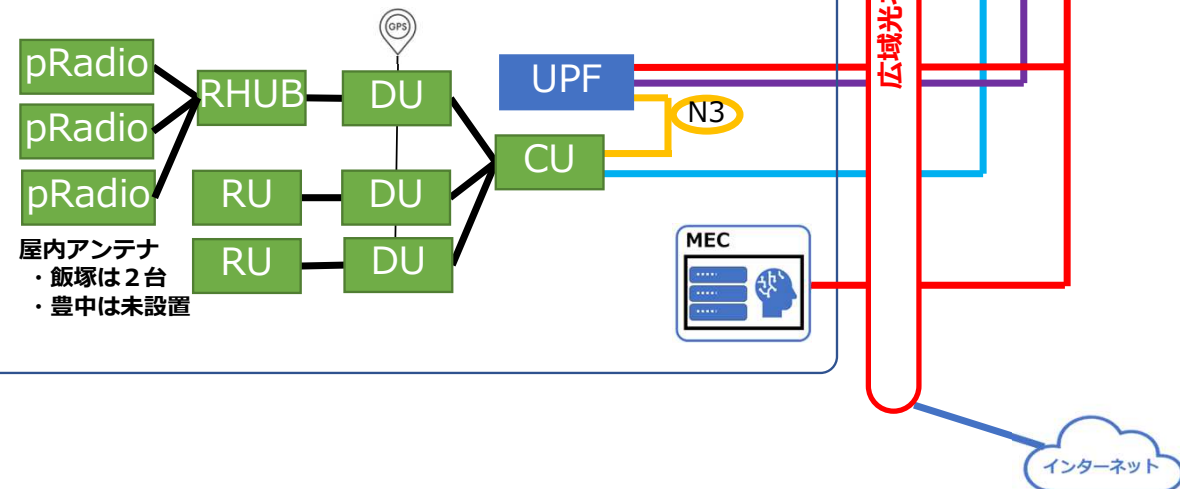


モバイルアプリケーション実証環境 システム構成

小金井



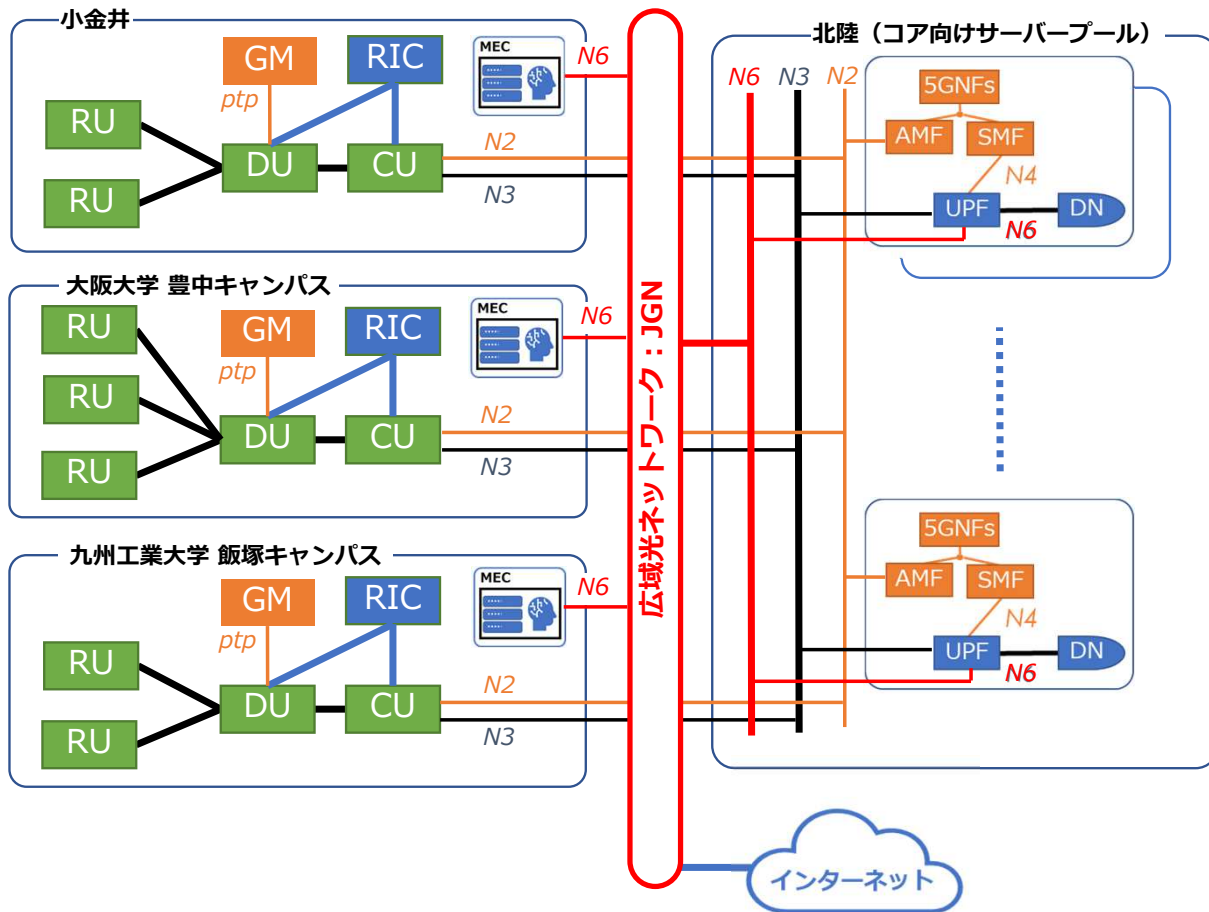
大阪大学 吹田/豊中キャンパス — 九州工業大学 戸畑/飯塚キャンパス



【概要・特徴】

- **L5G製品を利用：PW300**（富士通製）
 - **コア**：小金井に配備（2セット）
#1:小金井、大阪大学吹田/豊中キャンパス
#2:九州工業大学戸畑、飯塚キャンパス
 - **UPF**：コアと分離し、各サイトへ配備
 - **RAN**：各サイトへ配備
 - **RIC**：機能実装なし
- **MEC**：N6セグメントに配備(詳細はB面で説明)
- 以下サイトには**屋内アンテナ**を設置
 - 小金井:2
 - 大阪大学 吹田キャンパス:3
 - 九州工業大学 戸畑キャンパス:3,
飯塚キャンパス:2
- **UE**：2種を準備
 - ルータータイプ（COMPAL RAKU+）
 - スマホタイプ（FCNT SD01）

モバイルネットワーク開発環境 システム構成



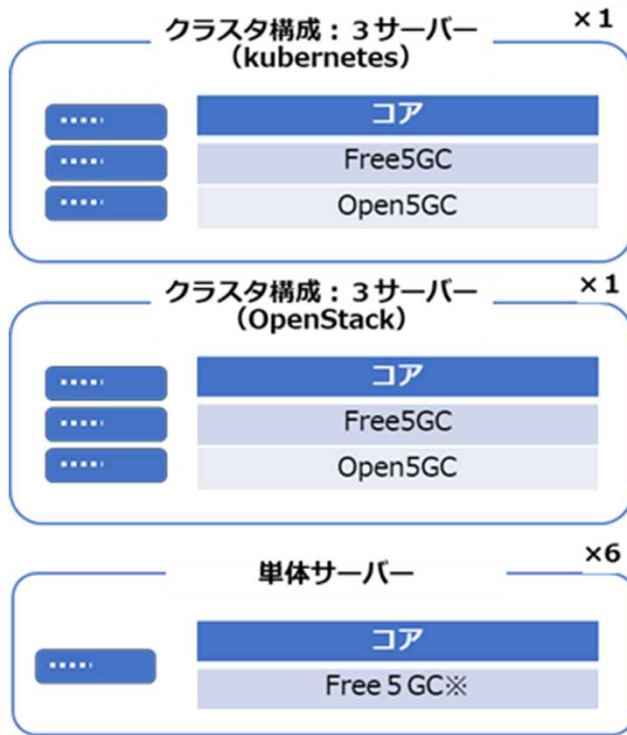
【概要・特徴】

- **O-RAN ALLIANCE**準拠
 - **コア**：北陸へ集約
 - 汎用サーバー + **OSS**
 - クラスタ構成 2セット
 - 単体サーバー構成 6セット
 - **UPF**：コア内ファンクションとして実装
 - **RAN**：3サイトに設置
 - 汎用サーバー + ソフト：製品利用
 - 小金井 (NICT本部)
 - 大阪大学 豊中キャンパス
 - 九州工業大学 飯塚キャンパス
 - **RIC**：3サイトに設置 (後述)
- **MEC**：N6セグメントに配備(A面と共用)
- **UE**：2種を準備
 - ルータータイプ (COMPAL RAKU+)
 - スマホタイプ (FCNT SD01)

※RU以外は、ユーザー持ち込み機器との接続、検証も可能

コア [5GC/UPF]

■ B面で利用できるコア概要



- 北陸サイトに設置したサーバープールに5Gコア環境を配備
 - クラスタ構成で構築済みのコア環境 : 2セット
 - 単体サーバーにコアを構築できる環境 : 6セット
 を準備。

- クラスタ環境には、動作検証済みの5Gコアを実装

- 単体サーバーには

- 動作検証済みのコアイメージの利用※ または
- ユーザー自身でコア構築し利用

を 希望により選択可能。

4台				
CPU	MEM	HD	GPU	
32C/64T	192GB	1.6TB	A100 x 2	
1台				
CPU	MEM	HD	GPU	
24C	256GB	2.4TB	—	
1台				
CPU	MEM	HD	GPU	
48C/96T	384GB	4.8TB	—	

現在各サイトへコア利用できるサーバーの追加配備（各1台）を計画中。

■ B面で利用できるRAN概要

- O-RAN準拠ソフトウェアを汎用サーバーへ実装したCU/DUとそれに接続するRUにて構成。
- CU/DU、RUをそれぞれの拠点に設置。
(RUは、小金井：RU×2、大阪大学：RU×3、九州工業大学：RU×2)

※参考：エンハンス版CU/DU評価実験：CU/DUをベンダーにて持ち込み、既コア/RUへ接続し評価を実施

【評価時の無線アクセスパラメータ】

【ダウンリンク】

- ・ MIMOランク：4
- ・ MCSテーブル：64QAM
- ・ 最大MCS：25（変調方式：64QAM、符号化率：822/1024）

【アップリンク】

- ・ MIMOランク：1
- ・ MCSテーブル：64QAM
- ・ 最大MCS：28（変調方式：64QAM、符号化率：948/1024）

【最大スループットの理論値】

- ・ ダウンリンク：100[MHz]×0.8(DL比率)×0.8(U-Plane比率)×4(MIMOランク数)×4.8[bps/Hz]= **1,228[Mbps]**
- ・ アップリンク：100[MHz]×0.2(UL比率)×0.8(U-Plane比率)×1(MIMOランク数)×5.6[bps/Hz]= **89.6[Mbps]**

R I C [RAN Intelligent Controller] M E C [Multi-access Edge Computing]

■ B面で利用できるRIC概要

ファンクションとして存在しますが、現状、ソフトウェア未実装で、運用に至っておりません。現在、CU/DUのエンハンス版と合わせ、Near-RT RICの実現を目指して検討をすすめています。

■ B面で利用できるMEC概要※

2台



CPU	MEM	HD	GPU
48C/96T	384GB	4.8TB	T4

- ・大阪大学：吹田、九州工業大学：飯塚、小金井にそれぞれ8台のサーバー（ホスト）を配置

6台



CPU	MEM	HD	GPU
48C/96T	384GB	4.8TB	—

- ・ユーザーは、VMの払い出しを受け利用する形体
- ・GPUは1 VMへパススルーにて利用する前提で運用

【各サイトのサーバー構成】

※A面と共有。A面/B面両システムから同じように利用可能。

【概要】

- 屋外または屋内に複数の基地局(28GHz帯基地局×2、Sub-6GHz帯基地局×3)を設置
- 当該地区における無線エリア形成特性の評価、セルサーチ時間の短縮化手法の実証・評価、基地局間のハンドオーバー手法の実証・評価、基地局における無線リソース割当制御手法の実証・評価等が可能

無線局の設置及び無線エリアイメージ

神奈川県横須賀市光の丘3-4 YRPセンター1番館および2番館



	システム	屋内	屋外	公衆網擬似 (屋内)
28Ghz帯	NOKIA NDAC	○	○	—
Sub6Ghz帯	富士通 PW300	○	○	○

- B5Gモバイル環境
 - 概要・提供サービス
 - ・ モバイルアプリケーション実証環境 : A面
 - ・ モバイルネットワーク開発環境 : B面
 - ・ モバイル基地局開発環境 : C面
 - デモ：B5Gモバイルテストベッド環境を使ってみる
(動画による紹介)
 - 基本的な動作
 - MECを使う
 - テストベッド素材を使った検証実験 (例)
 - 活用事例紹介

B5Gモバイルテストベッド環境を使ってみる

■ 基本的な動作：B5Gモバイル環境から外部サイトへアクセスしてみる

【準備】

B5Gモバイル環境



利用申請を行い、NICTモバイル環境へお越しください。

5G端末



- ・利用端末は貸与します
- ・今回使うのはCOMPAL社製RAKU+ (モバイルルータータイプ)

PC



・ご利用者で準備ください

【実行手順】

端末の電源投入・システムへのアタッチ確認

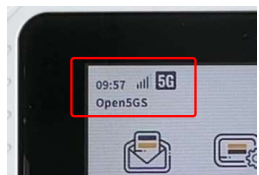
① 端末の電源投入



② 機内モード解除(通信開始)



③ アタッチされたことを確認 5G ピクトの表示

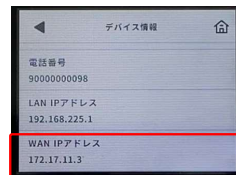


※注意事項

環境は実験試験局なので、電波発射を伴う機器の操作は有資格者（三陸特以上の無線従事者免許かつ免許に登録済）のみに許されています。詳細は利用申請時に説明。登録まで登録済NICT職員にて代行も可。



WANアドレスの付与



PCと端末の接続

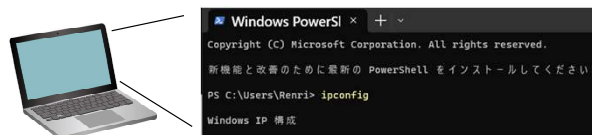
① PCと端末をLANケーブルで接続



※注意事項

端末はPC接続にWiFiインターフェースを具備していますが、使用しない。(5G通信へ干渉する可能性のあるものを極力なくす)

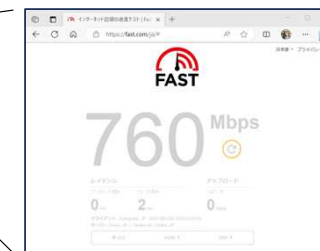
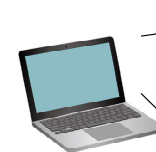
② PCへLANアドレスが付与されていることを確認



Windowsコマンドコンソールから **ipconfig** コマンドを投入、LAN **192.168.225.xxx** がアサインされていることを確認

PC上ブラウザから外部サイトへアクセス

① PCでブラウザを立ち上げ(ブラウザは任意選択)



② 外部サイトへアクセス

ここでは

<https://fast.com/ja>

へアクセスしてみます。

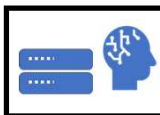


B5Gモバイルテストベッド環境を使ってみる

■ MECを使う：外部サイトの代わりに MEC を利用する

【準備】 “B5Gモバイル環境から外部サイトへアクセスしてみる”後からスタート

MEC環境



利用申請で、サービスエッジVMの払い出し申請を行ってください。
ユーザー所有MECの持ち込みは個別にご相談ください。

サービスエッジ概要



CPU	MEM	HD	GPU
48C/96T	384GB	4.8TB	T4

・大阪大学：吹田、九州工業大学：飯塚、小金井にそれぞれ8台のサーバー（ホスト）を配置



CPU	MEM	HD	GPU
48C/96T	384GB	4.8TB	—

・ユーザーは、VMの払い出しを受け利用する形態

・GPUは1 VMへバススルーにて利用する前提で運用

【各サイトのサーバー構成】

【実行手順】 “B5Gモバイル環境から外部サイトへアクセスしてみる”後からスタート

MECへサービスをデプロイ

① MECへアクセス

・NICTからモバイル環境N6セグメントに接続したネットワーク構成をもつVMを払い出します。また、以下の情報をお知らせします。これを使いMECへ **モバイル環境からアクセス** してください。（※）

- IPアドレス：172.16.xxx.yyy：MEC設置サイトに応じたアドレス
- ユーザー名：root権限をもつユーザー
- 初期パスワード

・sshコマンドでMECへログイン

```
$ ssh "ユーザー名"@IPアドレス
ユーザー名@IPアドレス's password: "初期パスワード"
```

② MEC上のサービス構築

ユーザー各自で作業ください。

※：現在外部からVPNアクセスする手段を検討中です。

MECサービスとの接続

モバイル環境/MECを利用したサービス検証は、**実際にはユーザーマター**となります。

ただ、ここでは NICTがデモ/試験のために準備したサービスを使った例を紹介します。

① MEC

- 小金井MEC：
 - CPU:8core MM:64GB HD:256G GPU:T4
 - OS:Ubuntu 22.04 server
- 飯塚MEC：
 - CPU:4core MM:8GB HD:40G GPU:none
 - OS:Ubuntu 22.04 server

② 実装したサービス

- httpサーバー：apache2
- これに
 - a.ネットワーク転送性能測定（javascript/PHPにて記述）
 - b.サイト（簡単なWebアクセスサイト：wordpress利用）を実装（b.は小金井のみに実装）
- ブラウザからのアクセスでサービス実行

PC上ブラウザでMECサービスを起動

① iperf3を起動してみる。

ssh接続したPCコンソールからクライアントモードで起動

② PCでブラウザを立ち上げ（ブラウザは任意選択）

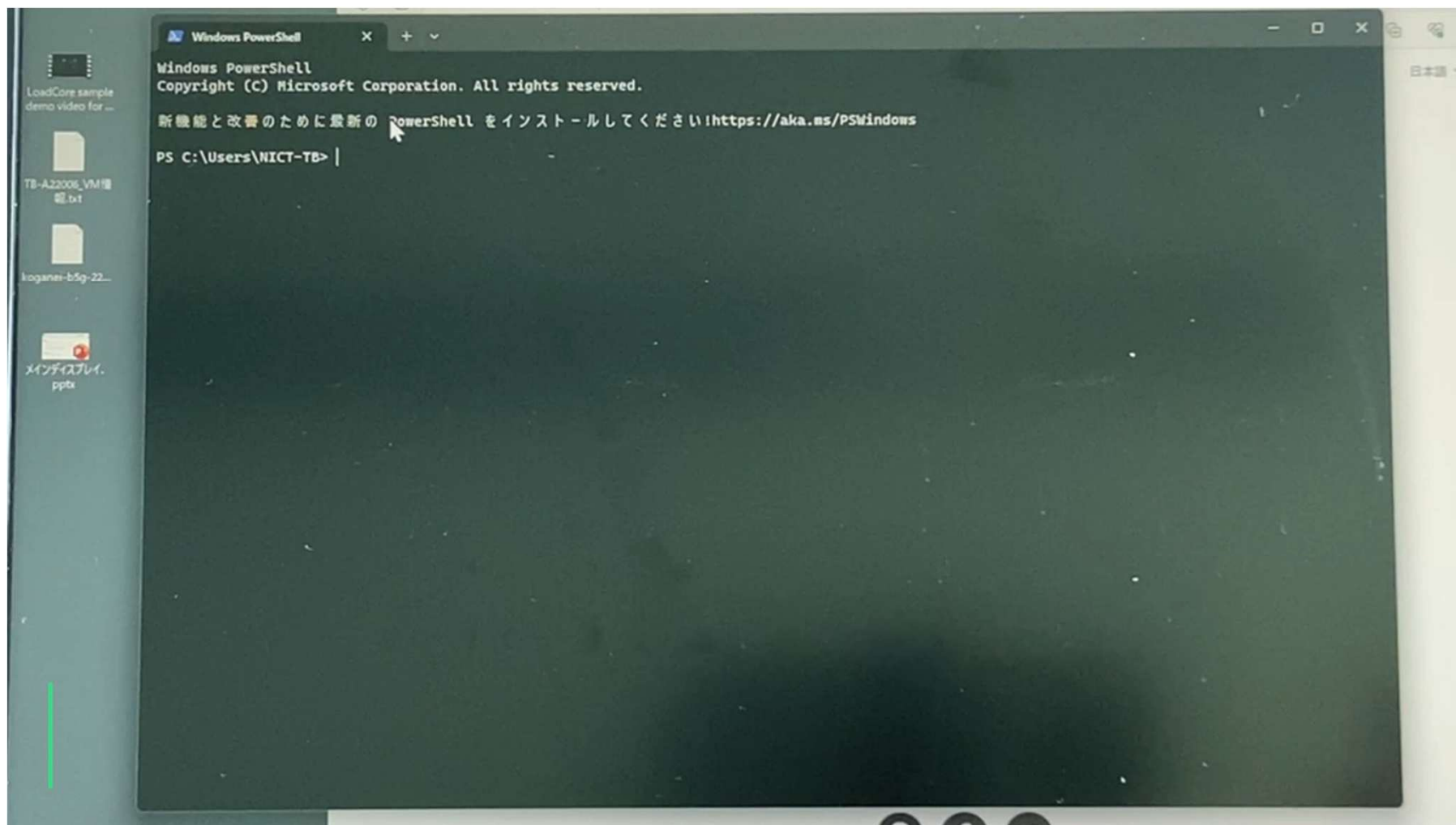
③ サービスの起動は、下記URLへアクセスするだけです。

a.ネットワーク転送性能測定

- 小金井
 - ダウンロード：<http://172.16.1.101:5880/DL>
 - アップロード：<http://172.16.1.101:5880/UL>
- 飯塚
 - ダウンロード：<http://172.16.2.101:5880/DL>
 - アップロード：<http://172.16.2.101:5880/UL>

b.サイト：<http://172.16.1.101:5880/info>

動画 (2分)



■ テストベッド素材を使った検証実験（例）：いろいろなことを組み合わせて検証を計画・実施する

【準備】：テストベッド素材

小金井A面環境



小金井B面環境



B面 5Gコア

既存コア

単体サーバー：北陸

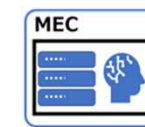


新規設置コア

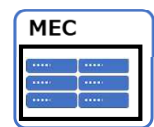
単体サーバー：小金井



小金井MEC



飯塚MEC



【実行手順】

検証計画を立てる

【目的】

- 5G SA内ネットワーク機能の組み合わせで生じる伝送特性差を確認する。

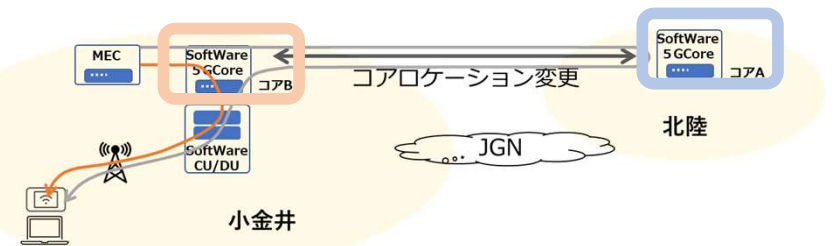
【計画概要】

- A面 / B面の小金井環境を使う。
- 評価項目はモバイル環境配下に置いたUE（PC）とMEC間の伝送速度（TCP）と伝送遅延を見る。

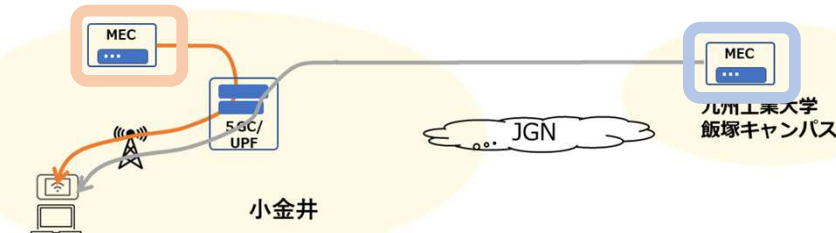
- B面：5Gコア設置のロケーション差を確認する。
- A面：MEC設置のロケーション差を確認する。

【実験構成】

- コアロケーション（B面利用）

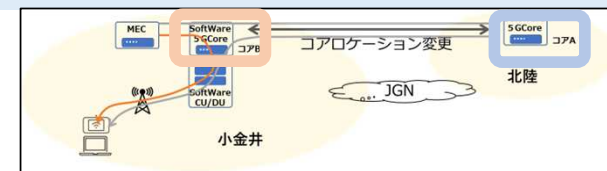


- MECロケーション（A面利用）



① コアロケーション (B面利用)

NICTオープンハウス2023にてこのデモをしました

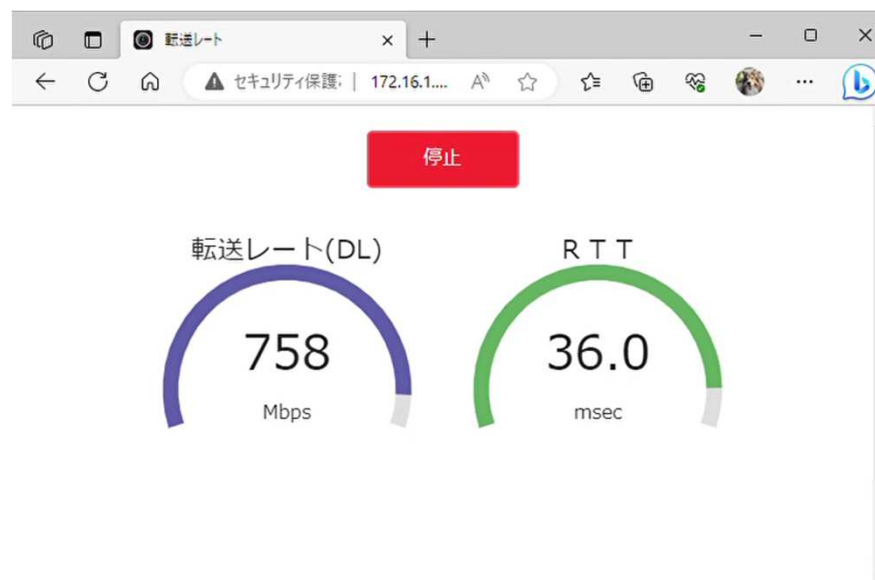


北陸設置コア利用時



転送レート (中央値)	R T T (中央値)
≒ 250Mbps	≒ 60msec

小金井設置コア利用時

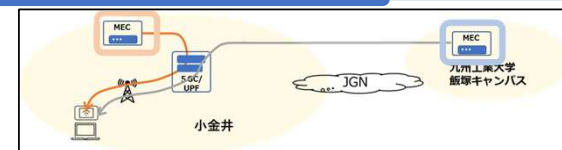


転送レート (中央値)	R T T (中央値)
≒ 800Mbps	≒ 25msec

コアロケーションの違いでの差

② MECロケーション (A面利用)

令和5年度 QBPシンポジウムにてこのデモをしました
(デモでは戸畑A面GYMLAB環境を利用)



飯塚MEC利用時



スピードテスト (TCP) From 飯塚



小金井MEC利用時



スピードテスト (TCP) From 小金井



転送レート (中央値)	RTT (中央値)
-------------	-----------

≒ 260Mbps

≒ 40msec

転送レート (中央値)	RTT (中央値)
-------------	-----------

≒ 400Mbps

≒ 25msec

MECロケーションの違いでの差

■ B5Gモバイルテストベッド環境

● 概要・提供サービス

- ・モバイルアプリケーション実証環境 : A面
- ・モバイルネットワーク開発環境 : B面
- ・モバイル基地局開発環境 : C面

● デモ

● 活用事例紹介

**5G無線特性 や B面ファンクションブロックに対する機能
変更・追加等 の実証検証例になります。**

テストベッド利用事例①

B5Gモバイル環境(モバイルアプリケーション実証環境)を活用することで 自動運転車・ドローン間の協調制御プラットフォームのネットワーク設計が可能に

研究テーマ スマートモビリティプラットフォームの実現に向けたドローン・自動運転車の協調制御プラットフォームの研究開発

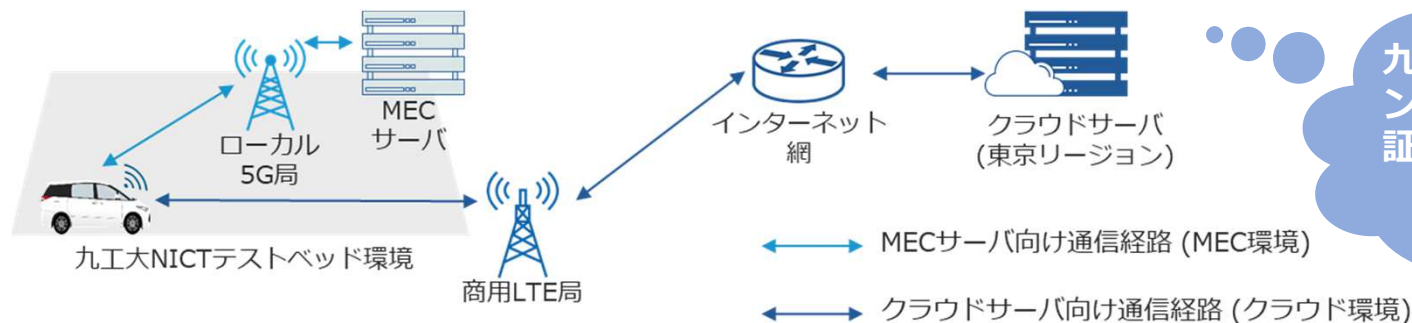
研究実施機関 KDDI株式会社、アイサンテクノロジー株式会社

研究の概要 モノの物流の最適化に加え、よりミッションクリティカル性の高いヒトの移動の検証にもつながり、なおかつ生活者への幅広いサービス展開が見込まれる「次世代モビリティによる自由な場所での暮らしと必需品の配送」の実証につながる基盤技術の研究開発と実証実験を行うことで、ロボットが協調するプラットフォームの有効性を検証する。

研究成果

- 自動運転車・ドローンを統合管理する協調制御プラットフォームを、クラウド、MECにそれぞれ設置した場合の比較評価を実施し、MECの場合、クラウドに比べて、往復遅延時間を約40ms、遅延時間の変動を約30%短縮できることが確認できた。
- 本実験結果より、自動運転車・ドローン間の協調制御機能は、MEC環境に構築するのが望ましいことが確認できた。

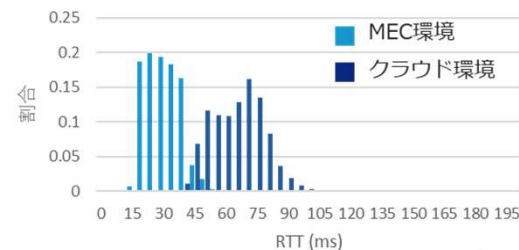
【実験環境】



【実験結果】

パーセンタイル	25%	50%(中央値)	75%
MEC環境	21.4ms	27.8ms	34.7ms
クラウド環境	53.0ms	64.0ms	72.0ms

往復遅延時間(RTT)



テストベッド利用事例② 5Gフィールドの電波伝搬をリアルタイムに可視化し、 直観的・定量的な分析を可能に

研究テーマ

B5Gモバイル環境における電波伝搬状況のモニタリング・分析技術の実現性検証実験

研究実施機関

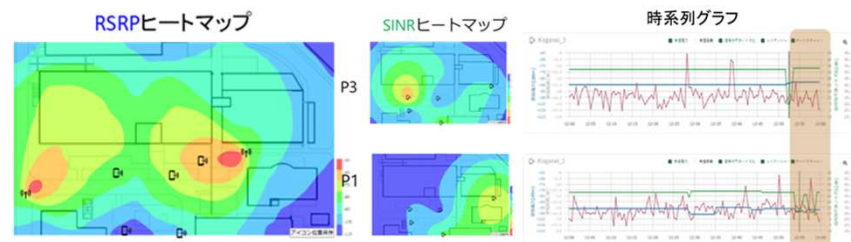
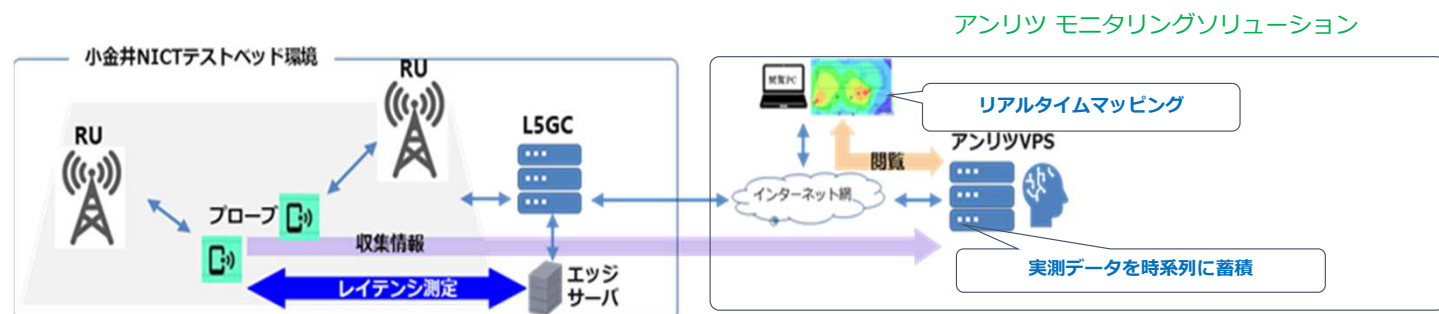
アンリツ株式会社

研究の概要

B5Gモバイル環境にて、複数RUローカル5G電波伝搬のリアルタイムマッピング・分析技術の実証実験を実施。電波伝搬シミュレーション技術と複数プローブの多点同時測定結果を統合する独自モニタリング技術により、ローカル5G電波伝搬をリアルタイムに可視化。電波遮蔽物の有無やハンドオーバー発生などによる電波伝搬特性の変化を逃さずに捉えられることを実証する。

研究成果

- シミュレーションと実測の統合により、複数RU環境においても、少数プローブでリアルタイムマッピング(RSRPヒートマップ)が可能に
- SINRヒートマップにより、ノイズ、干渉波の到来方向を推定
- 複数の時系列グラフにより、ハンドオーバー時などの複数個所で同時に変化する電波伝搬特性も逃さずに捕捉



NICT小金井に配備した実証フィールドで実験が行われました。

テストベッド利用事例③（モバイルネットワーク開発環境） IPv6アドレスブロックのBYON：Bring Your Own Network

研究テーマ

デジタルツイン基盤としてのBeyond 5Gの運用方法に関する研究

研究実施機関

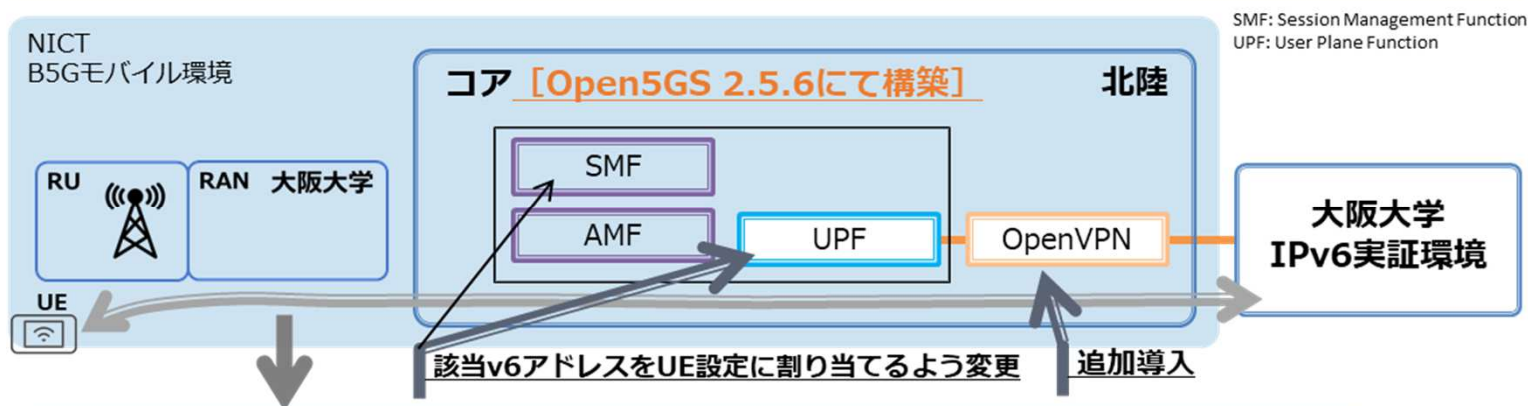
大阪大学

研究の概要

Beyond 5Gモバイルネットワークをデジタルツイン基盤として用いる際に求められる運用方法を追究する

研究成果

- IPv6アドレスブロックのBYON：Bring Your Own Network検証
 - コア内SMFとUPFの設定変更：該当v6アドレスをUE設定に割り当て
 - コア内U-PlaneルートにOpenVPNを導入、大阪大学IPv6実証環境間にトンネルを設定



IPv6アドレスブロックをBYON(Bring Your Own Network)的にモバイルネットワーク開発環境へ持ち込むことが出来ることを検証した。

- UEからIPv6で、大阪大学実証環境経由し、インターネットアクセスできることを確認

テストベッド利用事例④（モバイルネットワーク開発環境） Zero Overhead C-Plane

研究テーマ

Zero Overhead C-Plane

研究実施機関

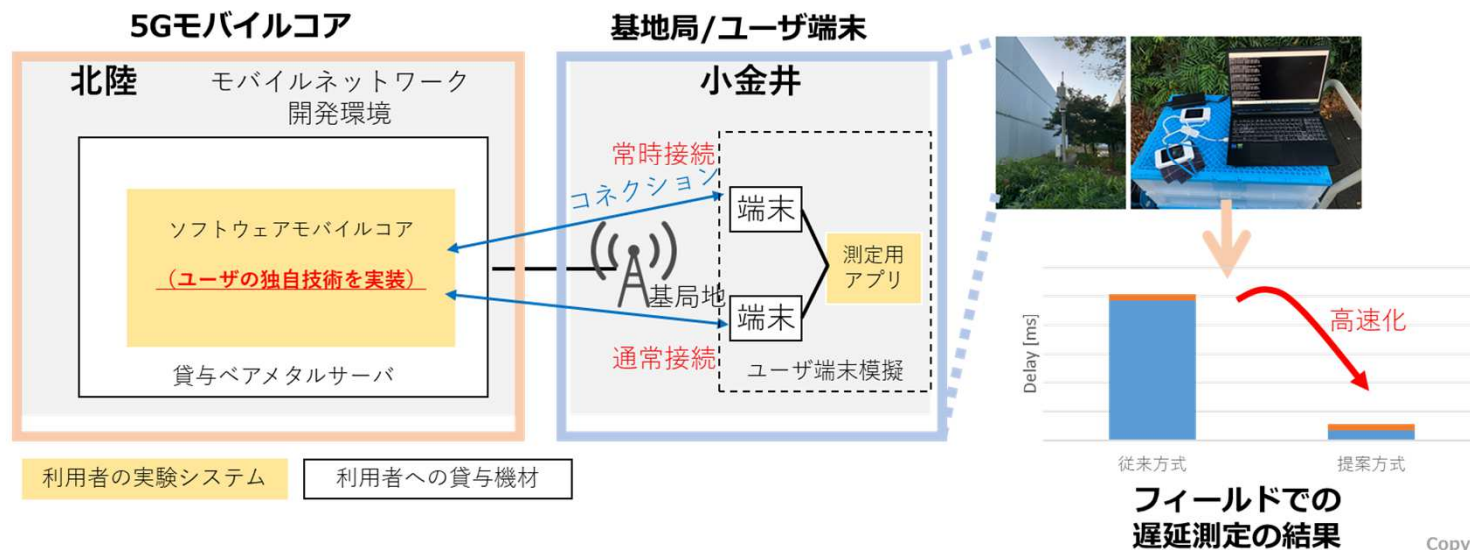
株式会社KDDI総合研究所

研究の概要

端末がIDLE状態から復帰した際に通信開始するまでに必要なC-Plane処理を削減することで、突発的な通信であっても最初の通信パケットから超低遅延な通信を提供可能にする。

研究成果

- テストベッド環境で通信開始高速化技術のフィールド性能を評価
 - モバイルコア-ユーザ端末間で2つのコネクションを使い、通信開始までの時間を短縮する実験を実施
 - テストベッド上に独自技術を盛り込んだモバイルコアをユーザが自前構築
 - 端末2台を用いて2つのコネクションを模擬したユーザ端末を実装



- **Beyond 5G モバイルテストベッド環境の紹介をさせていただきました。**
- **実際の5G無線アクセスを利用できる環境を、みなさまの研究・開発にぜひ活用いただきたいと思います。**

みなさまのご利用をお待ちしております。